

# 항복강도 130 KSI 급 HSLA 강 용접부의 기계적 성질에 미치는 용접입열량의 영향

(Effect of heat input on the mechanical properties of  
a YS 130 KSI grade HSLA steel welded joint)

윤 중근 \*, 박 동환  
현대중공업(주), 산업기술연구소

J.G. Youn, D.H. Park  
(Hyundai Industrial Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.)

## 1. 서 론

항복강도가 100 KSI 이상인 강 (예, HY 100 이나 HY 130) 은 주로 높은 수압에 견디면서도 우수한 기동성을 유지하기 위하여 경량화가 필수적인 잠수함 이나 심해 탐사용 잠수정의 pressure hull 재료로 사용되고 있다. 이 같은 고강도의 강은 해저에서의 안전성 확보를 위한 높은 파괴인성 및 응력 부식 균열과 부식 피로에 대한 저항성도 충분히 확보하여야만 되므로, HY 계 강의 제조시 다량의 합금 원소 첨가 및 QT 열처리가 필요하다. HY 계 강은 높은 탄소당량으로 인하여 용접후 용접 열영향부에는 매우 취화된 미세조직이 형성되어 인성이 크게 저하되고 저온균열의 발생이 용이하므로 용접시 많은 제약이 따르고 있다. 예컨대 극저수소계 용접재료의 사용, 고온의 예열 및 후열의 적용 등이 필수적이며, 열영향부에 취약한 미세조직 형성을 방지하기 위하여 최대 용접입열량을 제한하고 있어 생산성 향상에 큰 어려움이 있다.

HY 계 강의 열등한 용접성을 개량하고자 최근 저 탄소 및 저 탄소당량에 기초한 HSLA (high strength low alloy) 강 들이 개발되었다. 이 HSLA 강재들은 용접성이 양호하여 예열의 불필요 및 저수소계 용접재료의 사용 등이 가능하다고 평가되었다. 그러나 최대 용접입열량은 기존의 HY 계 강에 적용되던 규정 즉, 최대 22kJ/cm (미국, MIL)이 그대로 적용되고 있어 보다 생산성이 높은 용접기법을 사용할 수 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 최근 개발된 항복강도 130 KSI 급 HSLA 강을 대상으로 용접부의 물성에 미치는 용접입열량의 영향을 평가함으로써, 생산성 향상과 동시에 용접부의 물성도 확보할수 있는 최대 용접입열량을 설정하고자 하였다.

## 2. 실험

본 연구에 사용한 강은 0.1 wt% 이하의 저탄소 및 Ni-Cr-Mo 가 함유된 HSLA 강으로 QT 처리되었으며, 항복강도는 130 KSI 이상인 강이었다. 이 강의 미세조직은 결정립이 미세한 tempered lath martensite 이다. 용접은 AWS ER 140S-1 인 용접재료로 bead on plate 방법으로 예열없이 입열량을 10 KJ/cm 에서 80KJ/cm 까지 변화시켜 auto-carriage를 이용한 MAG 기법으로 실시하였다. 용접부의 물성은 경도와 충격인성으로 평가하여 적용가능한 최대 용접 입열량을 결정하였다.

## 3. 결 과

Fig.1은 용접부 단면의 경도분포를 입열량 별로 도시한 것으로, 입열량의 증가에 따라 용착금속과 열영향부의 경도는 전반적으로 감소되고 있다. 이와 같은 경향은 용접부의 미세조직변화에 기인되는데, 용착금속의 경우 냉각속도가 빠른 저입열량으로 형성된 미세조직은 미세한 lath 로 구성된 martensite 이나 입열량의 증가에 따라 40KJ/cm 까지는 lath의 형상이 조대화되고 그 이상의 입열에서는 조대화된 lath 들이 Widmanstatten 배열을 형성하지 않을 뿐 아니라 lath 자체의 형상을 손실하여 bainitic 조직으로 변화되고 있다. 용접열영향부의 조직은 저입열량의 경우에는 untempered martensitic lath 의 분율이 많으나 입열량이 증가할수록 이의 분율이 감소되며 상대적으로 autotempered martensitic lath 의 분율도 증가된다. 이는 모재 자체의 martensite 변태개시 온도 (약 400℃) 가 높아 용접후 냉각시 martensite로 변태후 상온까지 self tempering 되기 때문이며, 용접입열량이 증가할수록 냉각속도가 늦어지므로 self tempering 시간이 증가되어 auto-tempered martensitic lath의 분율이 증대된다. 더욱 용접입열량이 증대되면 lath 내 및 lath 간의 계면에 탄화물과 같은 제 2상 들이 석출되는 bainitic 조직으로 변화된다.

한편 열영향부에서 형성된 연화영역은 용접입열량의 증가에 따라 점차 fusion line 에서 멀어지고 있으며, 연화정도나 연화 영역의 폭이 다소 증가하고 있다. 이는 용접입열량에 따라 열영향부의 온도구배가 증가되고 연화되는 온도영역에서의 유지시간이 증가되기 때문이다. 이 연화 영역의 미세조직은 결정립계를 따라 high carbon martensite 가 형성된 이상조직으로, 용접시 도달온도가 이상영역내에 도달하였을 경우 형성된다.

Fig.2 는 입열량에 따른 용착금속, fusion line의 결정립 조대화된 영역과 연화된 열영향부에 대한 충격인성의 변화로 -51℃에서 평가된 것이다. 용접부의 충격인성은 용접 입열량의 변화에 비교적 둔감하며 전 입열량범위에서 HY 130 강의 MIL 규정인 -18℃ 에서 최소 81 Joule 을 충분하게 만족하고 있다. 또한 용착금속의 경우에도 ER 140S-1 에서 규정된 -51℃ 에서의 최소 60 Joule 도 크게 상회하고 있다.

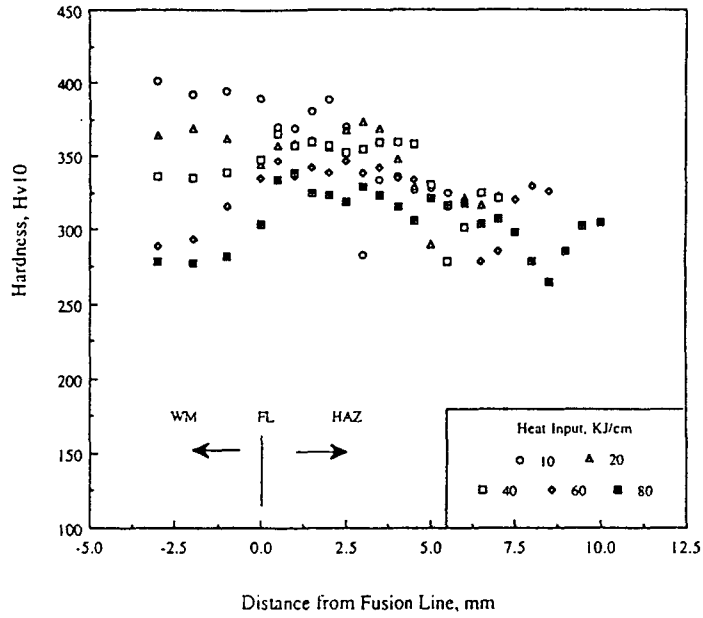


Fig. 1 Effect of heat input on the hardness distribution of the weldment

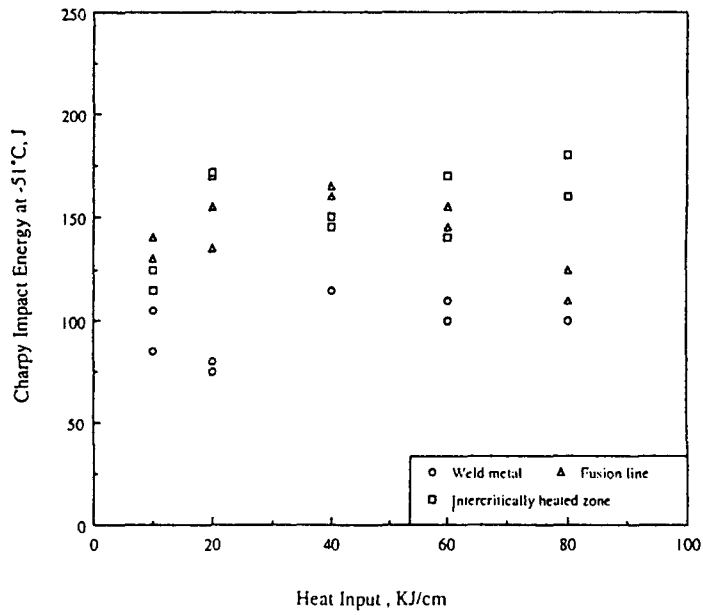


Fig. 2 Effect of heat input on the Charpy impact energy of the weldment

상기된 결과를 분석하여 보면, 본 연구에 사용된 HSLA 강은 80KJ/cm의 입열을 적용하여도 열영향부의 기계적 성질은 충분하게 확보될 수 있다고 판단된다. 그러나 용착금속의 경우 용접입열량이 60 KJ/cm 를 초과하게 되면 Fig.1에서 보여 주듯이 경도값이 300 Hv 이하로 되기 때문에 최저 항복강도 요구치인 130 KSI 를 만족시킬 수 없다고 예상된다. 따라서 예열 없이 적용가능한 최대 용접 입열량은 40KJ/cm 이며, 이는 열영향부의 물성에 기인된 것이 아니고 용착금속의 물성에 기인된 것이므로 용접재료의 개발이 수반되면 보다 높은 용접입열량의 적용이 가능하다고 하겠다.

#### 4. 결 론

최근 개발된 항복강도 130 KSI 급 HSLA 강을 대상으로 용접부의 물성에 미치는 용접입열량의 영향을 평가함으로써, 생산성 향상과 동시에 용접부의 물성도 확보할수 있는 최대 용접입열량을 설정하고자 하였다. 그 결과, 예열 없이 적용가능한 최대 용접 입열량은 40KJ/cm 으로 판단되었으며, 이는 용접재료 개발에 의하여 보다 증가될 수 있다.